



文章编号:1671-251X(2019)03-0001-04

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.17407

矿井火灾监测与趋势预测方法研究

孙继平, 孙雁宇

(中国矿业大学(北京), 北京 100083)



扫码移动阅读

摘要:在分析温度监测法、气体监测法、烟雾监测法、可见光图像监测法、红外图像监测法等矿井火灾监测方法原理和特点的基础上,提出了基于多参数融合的矿井火灾监测与趋势预测方法,得出以下结论:① 热电偶测温法和半导体测温法具有准确率高、实时性强、能及时发现早期火灾等优点,但存在传感器用量大、维护工作量大等缺点;红外测温法具有监测范围广、传感器易于布置等优点,但传感器与被测物体间的遮挡物和煤尘等均会影响监测结果;光纤分布式测温法具有可监测多点温度、线缆用量小等优点,但存在光纤易损坏、安装复杂、维护困难等缺点。② 气体监测法和烟雾监测法具有监测范围广、使用与维护方便等优点,但不能监测标志性气体浓度低、烟雾较小的早期火灾。③ 可见光图像监测法具有监测范围广、使用与维护方便、成本低等优点,但巷道灯、矿灯、车灯和红色衣物等干扰源及烟雾等均会影响监测效果,且不能监测没有火焰和烟雾较小的早期火灾。④ 红外图像监测法具有监测范围广、使用与维护方便等优点,但成本高,红外摄像机与被测物体间的遮挡物和煤尘等均会影响监测效果。⑤ 基于温度、烟雾、气体浓度、气味、风向、风速、风量、可见光图像和红外图像等多参数融合的矿井火灾监测与趋势预测方法不但能及时发现火灾,还可定位火源、预测火灾发展趋势。

关键词:矿井火灾;火灾监测;火灾趋势预测;火源定位;多参数融合

中图分类号:TD752

文献标志码:A

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20190301.1332.003.html>

Research on methods of mine fire monitoring and trend prediction

SUN Jiping, SUN Yanyu

(China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract:Based on analysis of principle and characteristics of mine fire monitoring methods such as temperature monitoring method, gas monitoring method, smoke monitoring method, visible light image monitoring method and infrared image monitoring method, a mine fire monitoring and trend prediction method based on multi-parameter fusion was proposed. Conclusions were got as following: ① Thermocouple temperature measurement method and semiconductor temperature measurement method have advantages of high accuracy, strong real-time performance and early detection of early fire, but there are disadvantages such as large sensor consumption and large maintenance workload; Infrared temperature

收稿日期:2019-02-22;修回日期:2019-02-26;责任编辑:盛男。

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2016YFC0801800)。

作者简介:孙继平(1958—),男,山西翼城人,教授,博士,博士研究生导师,中国矿业大学(北京)信息工程研究所所长;获国家科技进步二等奖3项(其中作为第1完成人2项、第2完成人1项);作为第1完成人获省部级科技进步特等奖和一等奖8项;作为第1完成人主持制定中华人民共和国煤炭行业和安全生产行业标准28项;主持制定《煤矿安全规程》第十一章“监控与通信”;作为第1作者或独立完成著作12部;被SCI和EI检索的第1作者或独立完成论文80余篇;作为第1发明人获国家授权发明专利60余项;作为国务院煤矿事故调查专家组组长参加了10起煤矿特别重大事故调查工作;E-mail:sjp@cumt.edu.cn。

引用格式:孙继平,孙雁宇. 矿井火灾监测与趋势预测方法研究[J]. 工矿自动化,2019,45(3):1-4.

SUN Jiping, SUN Yanyu. Research on methods of mine fire monitoring and trend prediction[J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(3): 1-4.

measurement method has advantages of wide monitoring range and easy sensor arrangement, but shielding and coal dust between sensor and measured object will affect monitoring result; Fiber distributed temperature measurement method has advantages of multi-point temperature monitoring and small amount of cable consumption, but there are disadvantages such as easy damage, complicated installation and difficult maintenance of optical fiber. ② Gas monitoring method and smoke monitoring method have advantages of wide monitoring range, convenient use and maintenance, but there are disadvantages such as cannot monitor early fire with low concentration of index gas and less smoke. ③ Visible light image monitoring method has advantages of wide monitoring range, convenient use and maintenance, low cost, but interference sources such as roadway light, miner's lamp, vehicle lamp and red clothes and smoke will affect monitoring effect, and the method cannot monitor early fire with no flame and less smoke. ④ Infrared image monitoring method has advantages of wide monitoring range, convenient use and maintenance, but cost is high, and shielding and coal dust between infrared camera and measured object will affect monitoring effect. ⑤ Mine fire monitoring and trend prediction method based on multi-parameter fusion of temperature, smoke, gas concentration, odor, wind direction, wind speed, air volume, visible light image and infrared image can not only detect fire in time, but also locate fire source and predict fire development trend.

Key words: mine fire; fire monitoring; fire trend prediction; fire source location; multi-parameter fusion

0 引言

矿井火灾具有发现难、发展迅猛、灭火和救护困难等特点^[1]。矿井火灾一旦发生,如果火势不能得到及时控制,波及范围将迅速扩大,造成大量人员伤亡。矿井火灾发生时,会产生大量CO,遇险人员在高浓度CO环境中时间越长,生还概率越小。数据显示,矿井火灾事故发生导致的人员死亡人数中,由于烧伤导致人员死亡人数不足20%,而由于不充分燃烧产生的CO导致人员死亡人数高达80%以上^[2]。因此,尽早发现矿井火灾并预测火灾发展趋势,是及时灭火和救援、减小火灾波及范围和人员伤亡的有效措施^[3-4]。笔者介绍了温度监测法、气体监测法、烟雾监测法、可见光图像监测法、红外图像监测法等矿井火灾监测方法,分析了各方法的原理和特点,提出了基于多参数融合的矿井火灾监测与趋势预测方法。

1 温度、气体和烟雾监测法

温度监测法通过温度传感器感知火灾发生时温度变化进行火灾监测,主要包括热电偶测温法、半导体测温法、红外测温法和光纤分布式测温法等。热电偶测温法和半导体测温法是接触式测温,传感器必须安装在被测物体上,具有准确率高、实时性强等优点,但存在监测点数量多、维护困难等问题^[5]。红外测温法是非接触式测温,通过检测被测物体辐射的红外线强度完成温度的测量,具有监测范围广、传感器易于布置等优点,但传感器与被测物体间的遮

挡物和煤尘等均会影响监测结果^[6]。光纤分布式测温法具有可监测多点温度、线缆用量小等优点,但存在光纤易损坏、安装复杂、维护困难等问题^[7]。

气体监测法通过气体传感器感知火灾发生时的CO、CO₂、O₂等标志性气体浓度进行火灾监测。通过采集标志性气体,能够对隐蔽点和封闭火区的燃烧状态进行实时监测,对不同监测点的同一标志性气体进行对比分析,能够判定火灾燃烧区位置^[8]。通过单一火灾标志性气体识别火灾,误报率较大,在实际应用中通常采集多种标志性气体进行分析。

烟雾监测法通过烟雾传感器感知火灾发生时产生的烟雾来实现火灾监测。该方法适用于燃烧过程产生烟雾颗粒的火灾。不同物质在燃烧时所产生的烟雾颗粒大小不一样,因此烟雾传感器应具有普适性。火灾往往在发生到一定程度时才会产生大量烟雾^[9],因此烟雾监测法在火灾初期往往起不到较好的监测效果,具有滞后性,漏报率较高。

2 可见光图像监测法

可见光图像监测法通过可见光摄像机获取火灾图像/视频,根据图像/视频中的火灾特征并利用火灾识别算法进行火灾识别。该方法是一种非接触的火灾监测方法,具有监测区域广,成本低,便于安装、使用与维护等优点^[10]。但巷道灯、矿灯、车灯和红色衣物等会干扰可见光图像监测法对火灾的识别。特别是,由于煤矿井下巷道空间狭小,发生火灾时空气不足,产生不完全燃烧,烟雾较大,严重影响监测距离。

火灾图像特征可分为静态特征和动态特征。静态特征主要包括火焰颜色、火焰形状等。动态特征主要包括火焰抖动及闪烁频率、火焰形状变化、烟雾特征等。静态特征可从单幅图像中提取,具有提取方便、计算复杂度低、实时性好等优点,但单幅图像所包含的火灾特征信息较少。动态特征需要从连续多帧图像中提取,连续多帧图像具有丰富的火灾特征信息,可提高火灾识别率,但动态特征提取需要处理的数据量庞大,实时响应较差^[11]。

2.1 火焰颜色

火焰颜色是火灾图像特征中最显著的特征。通过构建火焰颜色模型,提取火焰颜色特征,能够对火灾进行快速识别。通过采集的大量火灾图像,对火灾图像进行统计分析,在色彩空间建立火焰的色彩模型,进而实现对火焰的识别^[12-13]。火灾发生时燃烧的材料不同,火焰颜色存在一定的差异。巷道灯、矿灯、车灯和红色衣物等干扰源与火焰颜色具有明显的相似性,因此火焰颜色在火灾识别领域只能作为辅助判据。

2.2 火焰形状及变化

火焰燃烧时,火焰形状会发生变化。火焰形状及变化主要包括火焰面积及变化、边缘角数及变化、高度及变化、形状及变化等。火灾发生后,随着火势蔓延,火焰面积呈连续的、扩展性的增加趋势,因此火焰面积是判断火灾发生的判据之一。然而,当矿灯和车灯等由远及近进入监测区域时,矿灯和车灯的图像面积也会增大,对火灾识别结果造成影响。火灾早期的火焰边缘角数、高度变化和形状变化具有一定的变化规律,作为判据用来识别火灾时抗干扰能力强。

2.3 火焰抖动及闪烁频率

火灾发生过程中,火焰抖动符合高斯分布。通过提取火焰抖动及闪烁频率特征,可减少巷道灯、矿灯、车灯、红色衣物等干扰源对火灾识别的影响。

2.4 烟雾特征

烟雾是火灾发生时最明显的特征之一,不同物质燃烧产生的烟雾特征不同。烟雾出现的时间比火焰早,运动的范围比火焰大。对烟雾特征进行提取,能够对早期火灾进行识别。烟雾特征提取主要包括对烟雾的颜色、形状、飘动及频率等进行提取^[14-16]。火灾烟雾区的烟雾受热浪冲击,在视觉上呈现凸出的平面图像,而非火灾烟雾区不具备该特征。

2.5 火灾识别算法

火灾识别算法流程通常分为图像预处理、图像分割、特征提取和模式识别。其中,图像分割和特征提取直接影响火灾识别率。对火灾图像特征进行准确提取,能够有效提高识别算法的实时性、运行效

率,减少执行时间。常用的火灾识别算法主要有小波变换法、卷积神经网络法、多特征融合法等。小波变换法在火灾识别上具有较成熟的应用、较强的抗干扰能力。卷积神经网络法根据火灾图像特征,构建卷积神经网络,能够对复杂背景下发生的火灾有效识别^[17]。多特征融合法将2个或多个火灾图像特征融合,有效提高了火灾识别的实时性、准确性和鲁棒性。

3 红外图像监测法

火灾产生的火焰、烟雾和热量等会辐射大量红外线。红外图像监测法通过红外摄像机获取火灾红外图像/视频,根据红外图像/视频中的火灾特征进行火灾识别。该方法具有可穿透烟雾、非接触式温度测量等特点,可通过视场内各像素点的红外辐射值得出对应点的实时温度,并定位火源位置^[18]。

红外摄像机具有测温 and 热成像功能,可同时监测目标物体的温度和温度场变化。当红外摄像机监测到温度达到设定的报警值时,结合温度场及其变化等识别火灾。但红外摄像机存在成本高、分辨率低等缺点,红外摄像机与被测物体间的遮挡物和煤尘等均会影响监测效果。

4 多参数融合监测法

不同物质燃烧时会发出不同气味。因此,对气味进行识别,能有效辨识发生火灾的燃烧物质,进而确定火源,定位火灾发生位置。但受环境中温湿度等影响,在应用过程中要连续监测空间内气味变化,与其他火灾监测方法配合使用。

风向、风速和风量对火灾蔓延趋势具有决定性作用。火灾发生后产生的高温烟流引发巷道温度动态变化,导致火风压改变,相关巷道的风向、风速和风量均会发生变化。对风向、风速和风量的变化趋势进行分析,结合其他火灾监测方法,不但可监测火灾的发生,还可预测火灾蔓延趋势。

因此,采用物联网、人工智能和大数据等新技术,研究基于温度、烟雾、气体浓度、气味、风向、风速、风量、可见光图像和红外图像等多参数融合的矿井火灾监测与趋势预测方法,可弥补单一参数火灾监测方法的不足,降低火灾监测的误报率和漏报率,并可定位火源、预测火灾发展趋势。

5 结论

(1) 热电偶测温法和半导体测温法具有准确率高、实时性强、能及时发现早期火灾等优点,但存在传感器用量大、维护工作量大等缺点。红外测温法具有监测范围广、传感器易于布置等优点,但传感器

与被测物体间的遮挡物和煤尘等均会影响监测结果。光纤分布式测温法具有可监测多点温度、线缆用量小等优点,但存在光纤易损坏、安装复杂、维护困难等缺点。

(2) 气体监测法和烟雾监测法具有监测范围广、使用与维护方便等优点,但不能监测标志性气体浓度低、烟雾较小的早期火灾。

(3) 可见光图像监测法具有监测范围广、使用与维护方便、成本低等优点,但巷道灯、矿灯、车灯和红色衣物等干扰源及烟雾等均会影响监测效果,且不能监测没有火焰和烟雾较小的早期火灾。

(4) 红外图像监测法具有监测范围广、使用与维护方便等优点,但成本高,红外摄像机与被测物体间的遮挡物和煤尘等均会影响监测效果。

(5) 基于温度、烟雾、气体浓度、气味、风向、风速、风量、可见光图像和红外图像等多参数融合的矿井火灾监测与趋势预测方法不但能及时发现火灾,还可定位火源、预测火灾发展趋势。

参考文献(References):

[1] 孙继平,钱晓红. 煤矿重特重大事故应急救援技术及装备[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(1): 112-116.
SUN Jiping, QIAN Xiaohong. Emergency rescue technology and equipment of mine extraordinary accidents[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(1): 112-116.

[2] 孙继平. 煤矿事故分析与煤矿大数据和物联网[J]. 工矿自动化, 2015, 41(3): 1-5.
SUN Jiping. Accident analysis and big data and Internet of things in coal mine[J]. Industry and Mine Automation, 2015, 41(3): 1-5.

[3] 孙继平,钱晓红. 煤矿事故与应急救援技术装备[J]. 工矿自动化, 2016, 42(10): 1-5.
SUN Jiping, QIAN Xiaohong. Coal mine accident and emergency rescue technology and equipment [J]. Industry and Mine Automation, 2016, 42(10): 1-5.

[4] 雷忠青. 矿井火灾预警技术研究[J]. 煤炭与化工, 2015, 38(10): 148-149.
LEI Zhongqing. Study on mine fire warning technology[J]. Coal and Chemical Industry, 2015, 38(10): 148-149.

[5] 李军,张书林,龚仲强,等. 基于多传感信息融合的输送带运输巷道火灾预警方法[J]. 煤矿机械, 2017, 38(10): 132-135.
LI Jun, ZHANG Shulin, GONG Zhongqiang, et al. Fire alarm method of conveying belt transportation roadway based on multi-sensor information fusion [J]. Coal Mine Machinery, 2017, 38(10): 132-135.

[6] 贝伟仰,江虹. 基于红外测温的无线温度监测系统的

研究[J]. 计算机测量与控制, 2011, 19(10): 2397-2400.

BEI Weiyang, JIANG Hong. Study on temperature wireless monitoring system based on infrared technology[J]. Computer Measurement & Control, 2011, 19(10): 2397-2400.

[7] 张箫剑. 基于光纤测温技术的采空区煤温监测研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2015.

[8] 陈圣磊,梁建林,王恩慈. 气体分析法早期预测预报煤炭自然发火技术研究[J]. 山东煤炭科技, 2017(2): 93-95.

CHEN Shenglei, LIANG Jianlin, WANG Enci. Study on early prediction of coal spontaneous combustion by gas analysis [J]. Shandong Coal Science and Technology, 2017(2): 93-95.

[9] 齐斌. 温度和烟雾监测及远程报警系统的设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2015.

[10] 任慧,孙继平,刘晓阳. 矿用电缆火灾图像识别方法[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2007, 26(1): 85-88.

REN Hui, SUN Jiping, LIU Xiaoyang. Image recognition method of mine cable fires[J]. Journal of Liaoning Technical University, 2007, 26(1): 85-88.

[11] 唐杰,周洋,杨萌,等. 采用颜色混合模型和特征组合的视频烟雾检测[J]. 光电子·激光, 2017, 28(7): 751-758.

TANG Jie, ZHOU Yang, YANG Meng, et al. A smoke detection algorithm using color mixture model and feature combination [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2017, 28(7): 751-758.

[12] PREMACE, VINSLEY S S, SURESH S. Multi feature analysis of smoke in YUV color space for early forest fire detection[J]. Fire Technology, 2016, 52(5): 1319-1342.

[13] 王森,葛思擘,邹建华,等. 结合颜色和外型特征的视频烟雾识别方法[J]. 计算机应用, 2016, 36(增刊2): 168-170.

WANG Sen, GE Sibao, ZOU Jianhua, et al. Video smoke detection based on color and shape features [J]. Journal of Computer Applications, 2016, 36(S2): 168-170.

[14] 简文林. 基于视频烟雾运动检测的火灾探测方法研究[D]. 南昌: 南昌航空大学, 2018.

[15] 胡永才. 基于低照度室内视频图像的烟雾检测算法研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2017.

[16] FILONENKO A, HERNANDEZ D C, JO K H. Fast smoke detection for video surveillance using CUDA [J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2018, 14(2): 725-733.

[17] 杜明本. 基于视频监控的煤矿井下火灾识别算法研究[D]. 太原: 太原科技大学, 2016.

[18] 胡云. 基于红外热成像技术的矿井火灾识别系统研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2016.